

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-164019

(43)Date of publication of application : 19.06.1998

(51)Int.Cl.

H04J 14/00

H04J 14/02

H04B 10/00

H04B 10/02

(21)Application number : 08-314852

(71)Applicant : TOSHIBA CORP

(22)Date of filing : 26.11.1996

(72)Inventor : SETO ICHIRO

## (54) WAVELENGTH MULTIPLEX LIGHT TRANSMITTER DEVICE

## (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To attain high stabilization by providing more than one branching filter branching arbitrary channels to respective channels having different wavelengths for branching and insertion from channels which are wavelength-multiplexed in an optical fiber transmission line and branching/insertion nodes and setting the light signal wavelength to be transmitted to RZ pulses.

**SOLUTION:** A light transmission terminal station 1 converts transmission information by individual channels to be transmitted into light signals S-1 to S-N having the forms of RZ (return to zero) pulses from the light transmitters 2-1 to 2-n by individual channels. The light signals having the forms of the RZ pulses are transmitted by carriers made into the light beams of the wavelengths different in the respective channels. The light transmission signals (S-1 to S-N) by individual channels are wavelength-multiplexed by a synthesizer 3 in the light transmission terminal station 1, are amplified in an erbium dope optical fiber amplifier 4 in the terminal station 1 and are transmitted to nodes 6-1 to 6-n and a reception terminal station 7 through an optical fiber 5. The end station 7 branches and demodulates the wavelength multiplex light signal in the self-station and obtains an information signal.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

08.09.2000

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平 10-164019

(43) 公開日 平成10年(1998)6月19日

(51) Int. Cl. <sup>6</sup>

識別記号

F I

H 0 4 J 14/00

H 0 4 B 9/00

E

14/02

B

H 0 4 B 10/00

U

10/02

審査請求 未請求 請求項の数 7

O L

(全 18 頁)

(21) 出願番号 特願平8-314852

(22) 出願日 平成8年(1996)11月26日

(71) 出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72) 発明者 瀬戸 一郎

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株

式会社東芝研究開発センター内

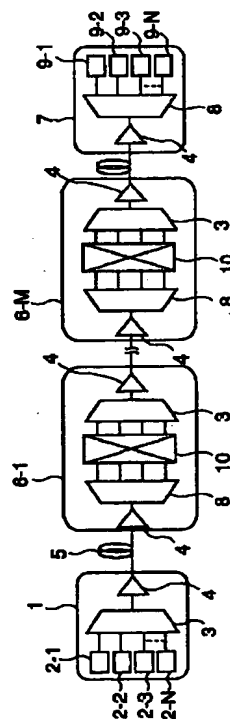
(74) 代理人 弁理士 鈴江 武彦 (外6名)

(54) 【発明の名称】 波長多重光伝送装置

(57) 【要約】

【課題】 マルチメディアに適した光波ネットワークとして期待されるADMノードを伝送路中に備える波長多重光伝送装置において、光源の波長及び合分波器の透過中心波長の波長ずれによる光波形歪みを低減し、光信号及び合分波器の波長安定度に対する条件の許容度を広げ、高信頼、高安定の光伝送を可能にする。

【解決手段】 送信光波形がRZパルスである波長多重光信号を送信する光送信端局1と波長多重光信号を受信する光受信端局7と伝送路である光ファイバ5と伝送路中に波長多重されたチャンネルから任意のチャンネルを分岐・挿入 (Add/Drop Multiplexer:ADM) するための各チャンネルに分波する分波器と各チャンネルを合波する合波器を含むADMノード6-1, ~6-M を備える。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】各チャンネル別の伝送情報をパルス信号化し、各チャンネル毎に異なる波長の搬送波光信号についてその該当チャンネルの前記パルス信号にて変調して多重化し、得られた波長多重光信号を送信する光送信端局と、波長多重光信号を受信して各チャンネル別に分波し、復調する光受信端局との間を光伝送路で接続すると共に、光伝送路中には波長多重されたチャンネルから任意のチャンネルを分岐・挿入 (Add/Drop Multiplexer:ADM) するため、波長多重光信号をチャンネル対応に分波する分波器と、異なる波長を持つ各チャンネルの光信号を合波して波長多重光信号にし、出力する合波器からなるADMノードを少なくとも1つ設けたシステムにおいて、伝送する情報の前記パルス信号をRZ (Return-to. Zero:RZ) パルスとしたことを特徴とする波長多重光伝送装置。

【請求項2】請求項1に記載の波長多重光伝送装置において、前記RZパルスの形状が方形であることを特徴とする波長多重光伝送装置。

【請求項3】請求項1または2いずれか記載の波長多重光伝送装置において、前記RZパルスは、デューティ比が50%未満であることを特徴とする波長多重光伝送装置。

【請求項4】各チャンネル別の伝送情報をパルス信号化し、各チャンネル毎に異なる波長の搬送波光信号についてその該当チャンネルの前記パルス信号にて変調して多重化し、得られた波長多重光信号を送信する光送信端局と、波長多重光信号を受信して各チャンネル別に分波し、復調する光受信端局との間を光伝送路で接続すると共に、該伝送路中にエルビウムドープ光ファイバ増幅器と狭帯域光フィルタとを備えたシステムにおいて、伝送する情報の前記パルス信号を方形のRZ (Return-to. Zero:RZ) パルスとしたことを特徴とする波長多重光伝送装置。

【請求項5】各チャンネル別の伝送情報をパルス信号化し、各チャンネル毎に異なる波長の搬送波光信号についてその該当チャンネルの前記パルス信号にて変調して多重化し、得られた波長多重光信号を送信する光送信端局と、波長多重光信号を受信して各チャンネル別に分波し、復調する光受信端局との間を光伝送路で接続すると共に、該伝送路中にエルビウムドープ光ファイバ増幅器と、狭帯域光フィルタとを備えたシステムにおいて、伝送する前記パルス信号波形に前記光送信端局及び前記光ファイバ増幅器出力におけるピークの電界強度Pが  $P < P_s$

但し、

$$P_s = (0.776 \lambda^3 A_{eff} |D|) / (\pi^2 n^2 c t_0)$$

(ここで、 $\lambda$ は波長、 $A_{eff}$ は光ファイバの実効コア断面積、 $D$ は波長分散値、 $n^2$ は光ファイバの非線形屈折率、 $c$ は光速、 $t_0$ は半値全幅である)を満足するRZ (Return-to-Zero:RZ) パルスを用いたことを特徴とする波長多重光伝送装置。

【請求項6】各チャンネル別の伝送情報をパルス信号化し、各チャンネル毎に異なる波長の搬送波光信号についてその該当チャンネルの前記パルス信号にて変調して多重化し、得られた波長多重光信号を送信する光送信端局と、波長多重光信号を受信して各チャンネル別に分波し、復調する光受信端局との間を光伝送路で接続すると共に、該伝送路中にエルビウムドープ光ファイバ増幅器と、狭帯域光フィルタとを備えたシステムにおいて、伝送する全ての前記パルス信号として、半値全幅の等しい光パルスを用いる符号を適用したことを特徴とする波長多重光伝送装置。

【請求項7】請求項1から6に記載の波長多重光伝送装置において、送信される光パルスが群速度分散を有する伝送路である光ファイバから与えられる波形歪みに対し、該波形歪みの補償をする補償手段を伝送路中もしくは受信端局に有することを特徴とする波長多重光伝送装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光源の波長変化もしくは合分波器の波長透過特性変化に対し、光波形歪みの小さい波長多重光伝送装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】近年、光伝送は、送信側では情報をデジタル化して光変調し、伝送路である光ファイバにて伝送すると共に、受信側では当該光ファイバにて伝送されてきた光信号を電気信号に変換し、デジタル信号に戻して情報を復元するといったものであり、広い帯域を確保できると共に、高速伝送が可能で、大容量の情報を高品位に伝送できる通信システムである。

【0003】そして、光ファイバ増幅器の進歩に伴い、光伝送システムは研究開発がますます盛んに行われており、将来のマルチメディア情報化時代を実現する大容量伝送方式として注目されている。

【0004】ところで、光通信においては、搬送波周波数の異なる複数の光信号を多重化することで容易に多数の通信チャンネルが確保できる。この方式は、波長多重光伝送と呼ばれる。この波長多重光伝送方式は、1チャンネル当たりの伝送容量をあげることなく、波長領域で複数のチャンネルを多重することにより、システム全体の伝送容量を増加させることができる。

【0005】特に接続点として活用できるノードとして、伝送路中に、チャンネルの分岐・挿入 (Add/Drop Multiplexer:ADM) 機能を持つADMノードを設けるようにした波長多重光伝送装置

は、光ファイバの広帯域性と大容量性を有効に活用でき、通信システムの規模拡張を容易にするため、光波ネットワークを実現する伝送方式として期待されている。

【0006】ADMノードは、主に光伝搬損失を補うための光ファイバ増幅器、多重された異なる波長を持つチャンネルを分波するための分波器、異なる波長を持つチャンネルを合波して多重するための合波器、信号の分岐・挿入・交換するクロスコネクタから構成される。

【0007】合波器及び分波器（以下、これらを総称して合分波器と呼ぶ）はそれぞれチャンネル別に異なる波長とした搬送波光信号を変調した各チャンネル別の光信号を合波もしくは分波するための入力ポートもしくは出力ポートを、少なくともチャンネル数分備えており、しかも、これら各ポートは波長依存性を有して、図2に示されるような波長透過特性を持つ。すなわち、各ポートは自己の対応するチャンネルの波長の中心周波数を中心に所定の範囲内のみを通過させる波長透過特性を持つように設定されている。しかも、波長透過特性は個々の合分波器で微妙に差を持つことを避けられない。

【0008】従って、伝送路中に挿入されるADMノードの数が多くなると、それぞれ固有の波長透過特性を持つ合分波器が連なることにより、全てのチャンネルにおいて帯域制限領域が大きくなり、透過帯域が狭くなっていくことになる。例えば、伝送路中にM個のADMノードがある場合、光送信端局の合波器、ADMノード内の分波器及び合波器、光受信端局の分波器が考えられ、合計すると、波長透過特性を持つ合分波器が“ $2M+2$ ”個も連なることになる。

【0009】そして、合分波器の各ポートの波長透過特性を半値透過帯域幅 $B_F$ のガウス型とすると、このシステムにおいては、“ $2M+2$ ”個の合分波器透過後には半値透過帯域幅は $B_F / (2M+2)^{1/2}$ となり、透過帯域幅はADMノード数に応じて大きく狭帯域化することになる。そして、これがNRZパルスを使用する波長多重光伝送装置において重大な問題を抱えることになる。

【0010】すなわち、デジタルデータ化した情報を光信号で伝送する場合に、デジタルデータをパルス信号化し、これで所定波長の連続光による搬送波光を変調して伝送に供するが、上記パルス信号としては、従来、NRZ (Non-Return-to-Zero: NRZ) パルスを使用するのが普通であった。これは、NRZパルスが光スペクトル帯域の広がり小さく、高密度波長多重に適したパルスであるという理由のためである。しかし、このNRZパルスの光信号は、狭帯域の波長透過特性を持つ素子を通る際、光信号の搬送波波長が、その素子の持つ透過中心波長に対して波長ずれがあった場合に、光スペクトルが非対称となり、大きい光波形歪みを引き起こす。

【0011】そのため、NRZパルスの光信号を使用す

る波長多重光伝送装置であって、上述のように、伝送路中にADMノードを持つ波長多重光伝送装置にあっては、合分波器により透過帯域が狭帯域化するため、光源の波長と合分波器の透過中心波長の波長ずれに対して、光波形歪みが大きく生じるという問題を抱える。

【0012】

【発明が解決しようとする課題】以上述べたように、従来、高密度波長多重に適しているとされていたNRZパルスによる光信号を使用する波長多重光伝送装置では、伝送路中にADMノードを持つ場合、光送信器側の光源の波長に対する合分波器での透過中心波長の波長ずれがあると、透過した光信号はその光スペクトルが非対称となり、従って、光波形歪みが大きいことが考えられるから、通信品質を確保し、通信不能に陥らないためにも、光源の波長と各合分波器の透過中心波長を一致させることが必要であった。

【0013】つまり、光源及び合分波器の波長透過特性の安定度に厳しい条件が必要であった。この波長の安定度に対する条件は、伝送路に挿入されるADMノードの数が増えるほど厳しくなることから、その通信システムにおいて必要とする波長安定度の精度に応じて、挿入できるADMノード数は制限されてしまう。しかし、伝送路全域に亘り、全てのチャンネルの光源の波長と合分波器の透過中心波長を安定的に一致させ、これを維持することは、光源の波長、及び合分波器の波長透過特性の外気温度依存による変動、また光源及び合分波器の経年劣化などを考慮すると、技術的に非常に困難である。

【0014】情報化社会の進展と、情報関連装置の発達、普及の状況を考えると、チャンネルの分岐・挿入機能を持つADMノードを伝送路中に、多数備える通信システムの必要性は、今後、ますます必要の度を深めることになり、従って、温度や経年劣化に対しても影響の少ない、従って、ADMノードの設置数を拡大可能な技術の開発が囑望されている。

【0015】そこで、この発明の第1の目的とするところは、光源の波長及び合分波器の透過中心波長の波長ずれによる光波形歪みを低減し、光源の波長及び合分波器の波長透過特性の安定度に対する条件の許容度を広げ、伝送路中に挿入できるADMノード数を従来よりも多くすることを可能とし、高信頼及び高安定化を図ることができるようにした波長多重光伝送装置を提供することにある。

【0016】また、伝送路上にADMノードが存在しない場合においても、伝送路中、もしくは光送信端局側及び光受信端局側内に備えた透過帯域の狭い光フィルタの透過中心波長と光源の波長に波長ずれが生じると光波形劣化が生じる。特に高密度波長多重によく用いられる分波用の分波器は、複数のチャンネルが波長領域上で密に並んでいるため、各チャンネルに対する透過帯域が伝送する光信号帯域に比べて十分広帯域ではない。また、全

てのチャンネルにおいて、合分波器を含めた光フィルタの透過中心波長と光源の波長を一致させることは技術的にも非常に困難である。

【0017】そこで、この発明の第2の目的とするところは、光源の波長及び伝送路中の光フィルタの透過中心波長の波長ずれによる光波形歪みを低減し、光源の波長及び光フィルタの波長透過特性の安定度に対する条件の許容度を広げ、高信頼及び高安定化を図ることができるようにした波長多重光伝送装置を提供することにある。

【0018】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため、本発明は次のように構成する。すなわち、本願の第1の発明に係わる波長多重光伝送装置は、波長多重光信号を送信する光送信端局と、波長多重光信号を受信する光受信端局と、これらを繋ぐ伝送路である光ファイバと、この伝送路中に波長多重されたチャンネルから任意のチャンネルを分岐・挿入するための異なる波長を持つ各チャンネルに分波する分波器と、異なる波長を持つ各チャンネルを合波する合波器からなるADMノードを1つ以上備え、伝送する光信号波形がRZパルスであることを特徴としている。

【0019】また、本願の第2の発明に係わる波長多重光伝送装置は、伝送する光信号であるRZパルスの形状が方形であることを特徴とする。本願の第3の発明に係わる波長多重光伝送装置は、伝送する光信号であるRZパルスは、そのデューティ比が50%未満であることを特徴とする。

【0020】本願の第4の発明に係わる波長多重光伝送装置は、波長多重光信号を送信する光送信端局と、波長多重光信号を受信する光受信端局と、伝送路である光ファイバと、該伝送路中にエルビウムドープ光ファイバ増幅器と狭帯域光フィルタとを備え、伝送する光信号波形に方形であるRZ (Return to Zero: RZ) パルスを用いたことを特徴とする。

【0021】本願の第5の発明に係わる波長多重光伝送装置は、波長多重光信号を送信する光送信端局と、波長多重光信号を受信する光受信端局と、伝送路である光ファイバと、該伝送路中にエルビウムドープ光ファイバ増幅器と狭帯域光フィルタとを備え、伝送する光信号波形に、該光送信端局及び該光ファイバ増幅器出力におけるピークの電界強度Pが

$$P < P_s$$

但し、

$$P_s = (0.776 \lambda^3 A_{\text{eff}} |D|) / (\pi^2 n^2 c t_o^2)$$

(ここで、 $\lambda$ は波長、 $A_{\text{eff}}$ は光ファイバの実効コア断面積、 $D$ は波長分散値、 $n_2$ は光ファイバの非線形屈折率、 $c$ は光速、 $t_o$ は半値全幅である)を満足するRZ (Return to Zero: RZ) パルスを用いたことを特徴とする。

【0022】本願の第6の発明に係わる波長多重光伝送装置は、波長多重光信号を送信する光送信端局と、波長多重光信号を受信する光受信端局と、伝送路である光ファイバと、該伝送路中にエルビウムドープ光ファイバ増幅器と狭帯域光フィルタとを備え、伝送する全ての光信号波形に、半値全幅の等しい光パルスを用いる符号を適用したことを特徴とする。

【0023】本願の第7の発明に係わる波長多重光伝送装置は、送信される光パルスが群速度分散を有する伝送路である光ファイバから与えられる波形歪みに対し、該波形歪みの補償をする補償手段を伝送路中もしくは受信端局に有することを特徴としている。

【0024】このような構成の本装置は、従来、伝送情報のデジタルデータをNRZパルス化し、このNRZパルスでチャンネル対応の波長の搬送波光信号を変調していたものを、RZパルスに変えてこのRZパルスで変調するようにしたものである。

【0025】NRZパルスは、RZパルスに比べて、搬送波波長から信号の最高変調周波数である波長まで、密に光スペクトルが分布している。そのため、搬送波光信号を発生する光源の波長及び合分波器(分波器または合波器)の透過中心波長の波長ずれから生じる搬送波付近での非対称な光スペクトル分布は光波形歪みとして影響が大きく現れていた。またNRZパルスは、信号系列の“1”の連続の長さにより、様々な幅のパルスが存在するため、光スペクトルにおける低域から高域まで均等に信号成分が分布している。よって、光スペクトルの低域から高域までのバランスが崩れると、パターン効果が大きく現れて光波形歪みが大きくなる問題があった。

【0026】しかし、本願の第1の発明に係わる波長多重光伝送装置ではNRZパルスに変えてRZパルスを用いるようにしている。RZパルスは、信号系列の“1”の連続の状態によらず、パルス形状は全て同じであり、NRZパルスに比べて光スペクトル分布の広がりは大いだが、搬送波波長と信号の最高変調周波数である波長に光スペクトルが集中している。RZパルスでは、この光スペクトルの分布が大きいことにより、光源の波長と合分波器の透過中心波長の波長ずれが起き、光スペクトル分布が非対称になった場合においても、搬送波波長と信号の最高変調周波数である波長におけるスペクトル集中が極端に遮断されない限り、光波形歪みがNRZパルスほど顕著には起こらない。また、RZパルスにおいては、パルス形状が全て同じなので信号系列によるパターン効果は大きく現れず、主に帯域を制限されることによるパルス幅の広がりが現れるだけで、大きな波形歪みを引き起こすことはない。

【0027】本願の第2の発明に係わる波長多重光伝送装置では、RZパルスとして方形パルスを用いる。RZパルスの形状は、大きく分けると山型が方形に分けることができる。方形パルスはガウス型パルス、ハイパボリ

ック型パルスに代表される山型パルスに比べて、光スペクトル分布の広がり大きい。そのため、光源の波長及び合分波器の透過中心波長の波長ずれによる光スペクトル分布の非対称の影響が小さく光波形歪みをもっとも抑圧できる。

【0028】本願の第3の発明に係わる波長多重光伝送装置では、RZパルスとしてデューティ比50%未満の方形パルスを用いる。方形パルスはデューティ比が小さいほど、つまりパルス幅が細いほど光スペクトル分布の広がり大きい。そのため、方形パルスにおいてはデューティ比が小さいほど、光源の波長及び合分波器の透過中心波長の波長ずれによる光スペクトル分布の非対称の影響が小さく光波形歪みをより抑圧できる。

【0029】本願の第4の発明に係わる波長多重光伝送装置では、伝送路中に伝送する光信号帯域に比べそれほど広帯域ではない合分波器などの狭帯域光フィルタを備える際に方形のRZパルスを用いる。方形のRZパルスはNRZパルス及びガウス形に代表される三角形パルスに比べて、光スペクトル分布の広がり大きい。

【0030】そのため、狭帯域の光フィルタの透過中心波長と光源の波長が波長ずれを起こした際においても、光スペクトル分布の非対称の影響が小さく光波形歪みを抑圧できる。

【0031】本願の第5の発明に係わる波長多重光伝送装置では、伝送路中に光信号帯域に比べそれほど広帯域ではない合分波器などの狭帯域光フィルタを備える際に、三角形のRZパルスを用いる。ピークパワーPが前述のPsより小さく、光ファイバの非線形効果による自己位相変調効果が無視できる領域においては、三角形のRZパルスはNRZパルスに比べて、狭帯域の光フィルタの透過中心波長と光源の波長が波長ずれを起こした際においても、光スペクトル分布の非対称の影響が小さく光波形歪みを抑圧できる。

【0032】本願の第6の発明に係わる波長多重光伝送装置では、伝送路中に光信号帯域に比べてそれほど広帯域ではない合分波器などの狭帯域光フィルタを備える際に、全ての伝送する光信号波形に半値全幅（単一の最大値を持つ分布曲線で、最大値の高さの2分1に対応する2点間の距離；半値幅ともいう）の等しい光パルスを用いる符号を適用する。伝送する光信号波形にNRZパルスを用いた場合は、信号系列の“1”の連続発生数により様々な半値全幅の光パルスが存在するため、狭帯域の光フィルタの透過中心波長と光源の波長が波長ずれを起こした際に発生するパターン効果が大きく、光波形歪みが大きく生じてしまう。しかし、本第6の発明に係わる符号化された光信号波形は、信号系列に依らず光パルスの形状は全て等しいため、パターン効果の影響を低減することができ光波形歪みを抑圧できる。

【0033】従って、本発明によれば、光源の波長及び伝送路中の光フィルタの透過中心波長の波長ずれによる

光波形歪みを低減し、光源の波長及び光フィルタの波長透過特性の安定度に対する条件の許容度を広げ、高信頼及び高安定化を図ることができるようにした波長多重光伝送装置を提供できる。

【0034】

【発明の実施の形態】以下、本発明の具体例を図面に基づいて説明する。

（第1の具体例）第1の具体例はRZパルスはNRZパルスと比べて、“波長ずれ”に対する許容度も大きく、光源及び合分波器の波長透過特性の安定度に対する基準も、大きく緩和できることを利用して、光源の波長と合分波器の透過中心波長の波長ずれに起因する光波形歪み問題を軽減するようにした例であり、以下、詳細を説明する。

【0035】図1は第1の具体例を示す構成図である。図において、1は光送信端局、2-1~2-Nは各チャンネル毎の光送信器、3は合波器、4はエルビウムドープ光ファイバ増幅器、5は光ファイバ、6-1~6-MはADMノード、7は光受信端局、8は分波器、9-1~9-Nは各チャンネル別の光受信器、10はクロスコネクタである。

【0036】送信局設備である光送信端局1は、光送信器2-1~2-N、合波器3、エルビウムドープ光ファイバ増幅器4を備えている。各チャンネル対応の光送信器2-1~2-Nは、それぞれ情報をRZ(Return to Zero)パルスの形状を持つ光信号に変換すると共に、それぞれ内蔵する連続光(CW光)出射用の光源より得られるそれぞれのチャンネル対応に異なる波長の搬送波光をこのRZパルスの形状を持つ光信号にて変調して送信光信号として出力するものである。

【0037】合波器3は、各光送信器2-1~2-Nの送出する搬送波光信号を畳重して出力するものであり、エルビウムドープ光ファイバ増幅器4は、この合波器3からの出力された多重化された光信号（波長多重光信号）を増幅して光ファイバ5へと出力するものである。

【0038】光ファイバ5は、光信号の伝送路であって、光送信端局1と光受信端局7との間に敷設されている。ADMノード6-1~6-Mは、光ファイバ5による伝送路の中間位置に適宜に配置されたチャンネル分岐・挿入機能を有した中継局である。

【0039】ADMノード6-1~6-Mは、エルビウムドープ光ファイバ増幅器4、波長多重光信号を分波する分波器8、クロスコネクタ10、および合波器3とから構成される。エルビウムドープ光ファイバ増幅器4は入力された光信号を増幅して出力するためのものであって、ADMノード6-1~6-M用としては入口用および出口用がそれぞれあり、入口用はADMノード6-1~6-Mの初段に、そして、出口用は最終段に設けられる。ADMノード6-1~6-M用の合波器3は入口用のエルビウムドープ光ファイバ増幅器4から出力された

光信号（搬送波光信号）をチャンネル別の光信号に分けるためのものであり、クロスコネク10は信号を分岐・挿入・交換する機能を持つ交換スイッチであり、ADMノード6-1~6-M用の合波器3はこのクロスコネク10から分岐・挿入・交換処理されて出力された各チャンネル別の光信号（搬送波光信号）を多重して出力するものであり、出口用のエルビウムドープ光ファイバ増幅器4はこの合波器3で多重された光信号を増幅して出力するものである。

【0040】光受信端局7は、末端の受信局であり、エルビウムドープ光ファイバ増幅器4、分波器8および各チャンネル別の光受信器9-1~9-N9を備えている。光受信端局7用のエルビウムドープ光ファイバ増幅器4は伝送路である光ファイバ5にて伝送されてきた光信号を増幅するためのものであり、光受信端局7用の分波器8は、この増幅された光信号を各搬送波光信号毎に分けるものであり、光受信器9-1~9-N9は、各チャンネル別に設けられた受信器であって、分波器8にて各搬送波光信号毎に分けられた光信号のうち、自チャンネル対応の光信号が入力されてこの光信号を情報信号に復調して得るためのものである。

【0041】また、各合波器3は各チャンネル別の入力ポートを有しており、当該入力ポートに入力される光信号を合波して波長多重光信号として出力端子側から出力する構成としてあり、また、各分波器8は各チャンネル別の出力ポートを有しており、入力端子に入力された波長多重光信号を、搬送波波長別に分波してその波長対応のチャンネルに相当する出力ポートより出力する構成としてある。

【0042】このような構成の本システムは、光送信端局1において、伝送したい各チャンネル別の伝送情報は各チャンネル別の光送信器2-1~2-Nより、RZパルスの形状を持つ光信号S-1~S-Nに変換し、RZパルスの形状を持つこれら光信号を、チャンネル毎に異なる波長の光とした搬送波で送信する。これは例えば、光源から連続光のレーザビームを発生させ、このレーザビームをRZ (Return to Zero) パルスの形状にパルス符号化した伝送情報の光信号で強度変調することで光送信信号とすることで実現する。

【0043】これら各チャンネル別の光送信信号（各チャンネルの光信号S-1~S-N）は光送信端局1内の合波器3で波長多重され、光送信端局1内のエルビウムドープ光ファイバ増幅器（以下、光ファイバ増幅器）4で増幅された後、伝送路である光ファイバ5を介してADMノード6-1~6-M及び光受信端局7へと伝送される。

【0044】光受信端局7においては、伝送されてきた波長多重光信号を自局内の光ファイバ増幅器4で増幅した後、自局内の分波器8で各波長毎に分波して、各チャンネル別の光信号にし、これをそれぞれ自チャンネル対

応の光受信器9-1~9-Nで受信し、情報信号に復調する。

【0045】伝送路である光ファイバ5の経路中間に設置されたADMノード6-1~6-Mは、主に光損失補償のために入力側と出力側に挿入された光ファイバ増幅器4と、波長多重光信号を異なる波長に応じて各チャンネルに分波する分波器8と、信号を分岐・挿入・交換する機能を持つクロスコネク10と、異なる波長を持つ各チャンネルを多重する合波器3で構成されている。

10 【0046】そして、本システムでは合分波器（合波器3、分波器8）としては、多波長の光信号を扱うことができ、構成の面でも容易である“アレイ導波路と回折格子を用いた構成のもの”や、“アレイ導波路格子 (Array waveguide grating) を用いた構成のもの”などを使用するようにする。

【0047】ここで、ADMノードはチャンネルの分岐・挿入を行う機能を持たせてあることから通常、ADMノード内には、チャンネルの分岐・挿入を実施できるようにするために、合分波器は分波用と合波用の対で挿入されることが多い。ところが、合分波器出力である各チャンネルに分波された光信号を、再度、同じ合分波器に入力して合波させる構成も可能であり、従って、このような構成をとる場合、合分波器が1つだけ挿入される構成とすることができることから、コストダウン、省スペース化といった意味合いからも、このような構成のADMノードの採用も考えられる。

【0048】このように合分波器には、様々な種類のものがあり、また様々な用途が考えられるが、合分波器はそれぞれのポートの波長透過特性の形状は、ガウス型のものが多く、従って、合分波器（合波器3および分波器8）の波長透過特性としては図2に示すような波長一過損失特性を持つ。

30 【0049】次に、この波長多重光伝送装置における光源及び合分波器の透過中心波長の波長ずれが及ぼす光波形状歪みを、数値計算により示す。本具体例においては、各チャンネルの伝送速度を10 [Gb/s]（ギガビット/秒）とし、そして、伝送路中にはADMノードは9個挿入されており、合分波器の各ポートの半値透過帯幅が0.4 [nm] であるものとして説明する。

40 【0050】ここでは光送信器の持つ光源の波長及び合分波器の透過中心波長の波長ずれに対する光波形への歪みの影響を示すため、隣接チャンネルからのクロストーク、伝送路である光ファイバ5の分散及び非線形効果は無視して考える。

【0051】但し、光ファイバ増幅器4における自然放出光雑音は雑音指数6 [dB] とし、光受信器においては理想的な2乗検波を受信光信号に対して行い、検波後の光信号は3 dBカットオフ周波数7.5 [GHz] の等価フィルタを透過させるようにした。

50 【0052】光源の波長及び合分波器の透過中心波長の

波長ずれの最悪の場合を想定するため、合分波器の透過中心波長 $\lambda_{ADM}$ は全て一致しているものとし、その透過中心波長 $\lambda_{ADM}$ から光源の波長 $\lambda_{LD}$ がずれている場合を考える。

【0053】今、上記透過中心波長 $\lambda_{ADM}$ に対する光送信器光源の波長ずれを $\Delta\lambda$ （但し、 $\Delta\lambda = |\lambda_{ADM} - \lambda_{LD}|$ ）とし、この波長ずれ $\Delta\lambda$ が0.0 [nm]である場合におけるRZパルスの受信時のアイパターンと光スペクトルを図3に、また、波長ずれ $\Delta\lambda$ が0.1 [nm]である場合におけるRZパルスの受信時のアイパターンと光スペクトルを図4に、そして、波長ずれ $\Delta\lambda$ が0.16 [nm]である場合におけるRZパルスの受信時のアイパターンと光スペクトルを図5にそれぞれ示す。なお、ここでのRZパルスはガウス形で半値全幅30 [ps]とした。

【0054】また、これらとの比較のために、波長ずれ $\Delta\lambda = |\lambda_{ADM} - \lambda_{LD}|$ が0.0 [nm]の場合におけるNRZパルスの受信時のアイパターンと光スペクトルを図6に、そして、波長ずれ $\Delta\lambda$ が0.1 [nm]の場合におけるNRZパルスの受信時のアイパターンと光スペクトルを図7に示す。

【0055】NRZパルスの場合は、図6をみると $\Delta\lambda = 0.0$  [nm]（すなわち、波長ずれ無し）の場合、（a）のアイパターンは広く開口しており、（b）に示す光スペクトルは中心周波数に対して $\pm 8$  [GHz]程度の範囲で分布が見られる。しかも、強さのレベルは中心周波数を除き、極めて低い。また、図7をみると $\Delta\lambda = 0.1$  [nm]の場合、（a）のアイパターンは大幅に狭まった開口となり、（b）に示す光スペクトルは中心周波数に対して“－”側に6 [GHz]程度の範囲で、また、“＋”側には26 [GHz]程度の範囲で、分布が見られる。しかも、強さのレベルは中心周波数を除き、極めて低い。

【0056】すなわち、NRZパルスの場合は、図6から、 $\Delta\lambda = 0.0$  [nm]（すなわち、波長ずれ無し）であっても、伝送路にADMノードが9個挿入されていることによる透過帯域の狭帯域化から高域の信号成分が削られ、パターン効果が起きていることがわかる。

【0057】また、図7から、 $\Delta\lambda = 0.1$  [nm]においては、光スペクトル分布の非対称とパターン効果による光波形歪みが大きく起きていること、問題が大きいことがわかる。図示はしていないがNRZパルスの場合において $\Delta\lambda = 0.16$  [nm]の条件での観測をみるとアイが完全に閉じており、使用不可であることがわかった。

【0058】一方、RZパルスの場合は、図3をみると、 $\Delta\lambda = 0.0$  [nm]（すなわち、波長ずれ無し）の場合、（a）のアイパターンは広く開口しており、（b）に示す光スペクトルは中心周波数に対して $\pm 14$  [GHz]程度の範囲で左右対称の綺麗な分布が見られ

る。強さのレベルは中心周波数を除き、低い。

【0059】また、図4をみると、 $\Delta\lambda = 0.1$  [nm]の場合、（a）のアイパターンは広く開口しており、（b）に示す光スペクトルは中心周波数に対して“－”方向に6 [GHz]程度の範囲、“＋”方向に22 [GHz]程度の範囲にシフトするものの、左右対称の綺麗な分布形状は変わらない。しかも、強さのレベルは+10 [GHz]の位置に最大ピークのものが表われ、他は低い。

10 【0060】また、 $\Delta\lambda = 0.16$  [nm]である図5をみると、（a）のアイパターンは依然、広く開口しており、（b）に示す光スペクトルはほぼ完全に“＋”領域に移ってしまうものの、全体として $\Delta\lambda = 0.1$  [nm]の場合の形状を裏返したような分布となり、左右対称の綺麗な分布形状は変わらない。強さのレベルは+10 [GHz]の位置に最大ピークのものが表われ、他は低い。

20 【0061】すなわち、RZパルスの場合は、図3に示されるように、 $\Delta\lambda = 0.0$  [nm]（すなわち、波長ずれ無し）であっても、透過帯域が狭帯域であることにより、NRZパルス同様、高域の信号成分が削られるため、パルス幅が広がるが、パターン効果はほとんど起きておらず、アイが大きく開いている。つまり、このことからRZパルスはNRZパルスに比べて、より狭帯域な透過帯域を伝送することができ、従って、伝送路中にはより多くのADMノードを挿入可能であることがわかる。

30 【0062】また図4、図5に示されるように、RZパルスの場合は $\Delta\lambda = 0.1$  [nm]、0.16 [nm]においてもアイパターンが大きく開いており、波長ずれによる光波形歪みへの影響はNRZパルスに比べて非常に小さいことがわかる。これにより、RZパルスはNRZパルスと比べて、“波長ずれ”に対する許容度も大きく、光源及び合分波器の波長透過特性の安定度に対する基準も、大きく緩和できることが伺える。

40 【0063】このように、第1の具体例に示す波長多重光伝送装置は、各チャンネル別の伝送情報をパルス信号化し、光源にて発生させた各チャンネル別に異なる波長の搬送波光信号をその該当チャンネルの伝送情報である前記パルス信号で変調して多重化し、得られた波長多重光信号を送信する光送信端局と、波長多重光信号を受信して各チャンネル別に分波し、復調する光受信端局との間を光伝送路で接続すると共に、光伝送路中には波長多重されたチャンネルから任意のチャンネルを分岐・挿入するための異なる波長を持つ各チャンネルに分波する分波器と、異なる波長を持つ各チャンネルを合波する合波器からなるADMノードを少なくとも1つ設けたシステムにおいて、伝送する情報の前記パルス信号をRZパルスとしたことを特徴としている。そして、伝送する情報である前記デジタルデータの信号をRZパルスとするこ



とで、光信号波形をRZパルスで伝送するようにしたことから、光源の波長及び合分波器の透過中心波長の波長ずれによる光波形歪みを低減し、光源の波長及び合分波器の波長透過特性の安定度に対する条件の許容度を広げ、伝送路中に挿入できるADMノード数を従来よりも多くすることを可能とし、高信頼及び高安定化を図ることができるようになる。

【0064】従来用いられていたNRZパルスは、RZパルスに比べて、搬送波波長から信号の最高変調周波数である波長まで、密に光スペクトルが分布している。そのため、光源の波長及び合分波器の透過中心波長の波長ずれから生じる搬送波付近での非対称な光スペクトル分布は光波形歪みとして影響が大きく現れる。また、NRZパルスは、単位符号間隔の長さとパルスの長さが同じであるようなパルス波形であって、データ波形が“1”以外の区間は“0”を表している形式のパルスであり、このような形式のNRZパルスを用いた場合には、信号系列の“1”の連続の長さにより、様々な幅のパルスが存在するため、光スペクトルにおける低域から高域まで均等に信号成分が分布している。よって、光スペクトルの低域から高域までのバランスが崩れると、パターン効果が大きく現れて光波形歪みが大きくなる。

【0065】それに対して、この第1の具体例に係わる波長多重光伝送装置ではRZパルスを用いるようにした。RZパルスは、情報ビット“1”でレベルを変化させ（または“1”と“0”の符号が表れる毎にそれぞれ所定のレベルに変化させ）、すぐに元のレベルに戻す形式のパルスであって、このようなRZパルスは、信号系列の“1”の連続の状態によらずパルス形状は全て同じであり、NRZパルスに比べて光スペクトル分布の広がり

は大きいことにより、たとえ、光源の波長と合分波器の透過中心波長の波長ずれが起き、光スペクトル分布が非対称になった場合においても、搬送波波長と信号の最高変調周波数である波長におけるスペクトル集が極端に遮断されない限り、光波形歪みがNRZパルスほど顕著には起こらない。また、RZパルスにおいては、パルス形状が全て同じであることから、信号系列によるパターン効果は大きく現われることがなく、主に帯域を制限されることによるパルス幅の広がりが現れるだけで、大きな波形歪みを引き起こすことはない。

【0067】ゆえに、光伝送にRZパルスを使用する本装置によれば、光源の波長及び合分波器の透過中心波長の波長ずれによる光波形歪みを低減し、光源の波長及び合分波器の波長透過特性の安定度に対する条件の許容度を広げ、伝送路中に挿入できるADMノード数を従来よりも多くすることを可能とし、高信頼及び高安定化を図ることができる波長多重光伝送装置が得られる。

【0068】以上は、ADMノードを伝送路中間に多数、挿入できるようにする技術であり、RZパルスを使用することで、目的を達成できることを示した。しかし、単にRZパルスを使用するというだけでは、最大の効果を十分に引き出すことはできない。そこで、RZパルスを使用する場合に、最大の効果を期待できる条件を探索してみる。

【0069】（第2の具体例）第2の具体例を説明する。第2の具体例において、想定する伝送路モデルは第1の具体例と同様とする。第2の具体例は、用いるRZパルスの形状を工夫することで上記目的を達成する。

【0070】RZパルスの形状として、ガウス形で半値全幅30 [ps]、20 [ps]と方形でデューティ比50%、30%（立ち上がり、立ち下がりスロープ15%）を考え、光源の波長 $\lambda_{ADM}$ と合分波器の波長 $\lambda_{LD}$ の波長ずれ $\Delta\lambda$ に対するアイペナルティを図8に示す。実際には、光信号を発生する光変調器の帯域は有限なため、方形パルスは立ち上がり及び立ち下がりスロープに時間がかかり、台形パルスとなる。

【0071】本具体例では、立ち上がり、立ち下がりスロープ時間を1ビットのタイムスロットの15%とした。また、本具体例におけるアイペナルティは、1ビットのタイムスロット20%幅の識別時間帯に互って得られる最小アイ開口幅と、この識別時間帯における平均“1”、“0”レベル差をデシベル（[dB]）で表し、受光パワーペナルティを表している。

【0072】RZパルスの場合、図8に示されるように、“ガウス形パルス”、“方形パルス”ともにNRZパルスに比べて波長ずれに対する光波形劣化がとて小さいことがわかる。さらに同じ形状であるガウス形パルス、方形パルスにおいては、パルス幅の狭い方が光スペクトル分布の広がりが大きいため、波長ずれ $\Delta\lambda$ に対するアイペナルティが小さい。方形パルスとしては従来、デューティ比50%を用いる場合が多いが、デューティ比は“より小さい”方が、波長ずれに強いことになる。

【0073】また、“ガウス形パルス”と“方形パルス”においては、“方形パルス”の方が光スペクトル分布の広がりが大きいため、波長ずれ $\Delta\lambda$ に対するアイペナルティが小さい。

【0074】続いて、図9に方形パルスにおいて、立ち上がり及び立ち下がりスロープが20%と5%のときの波長ずれに対するアイペナルティを示す。図9より、スロープ5%の方がスロープ20%に比べて、波長ずれに対する波形歪みの影響が小さいことがわかる。これはスロープ時間が短くより完全な方形に近いパルスの方が、光信号の光スペクトル分布が広がるためである。

【0075】つまり、光信号を発生する光変調器にはより広い帯域を持つタイプを用いることでも波長ずれの影響を軽減できる。具体的には、RZパルスとしてデューティ比50%未満の“方形パルス”を用いるのが良い。

【0076】このように第2の具体例に係わる波長多重光伝送装置では、第1には、RZパルスとして“方形パルス”を用いるようにしたことを特徴としている。RZパルスの形状は、大きく分けると“山形”か“方形”に分けることができる。“方形パルス”はガウス形パルス、ハイパボリック形パルスに代表される山形パルスに比べて、光スペクトル分布の広がり大きい。そのため、光源の波長及び合分波器の透過中心波長の波長ずれによる光スペクトル分布の非対称の影響が小さく、光波形歪みを最も抑圧できる。

【0077】また、第2の具体例に係わる波長多重光伝送装置では、第2には、RZパルスとしてデューティ比50%未満の方形パルスを用いるようにしたことを特徴としている。方形パルスはデューティ比が小さいほど、つまりパルス幅が細いほど、光スペクトル分布の広がり大きい。そのため、方形パルスにおいてはデューティ比が小さいほど、光源の波長及び合分波器の透過中心波長の波長ずれによる光スペクトル分布の非対称の影響が小さくなり、光波形歪みをより抑圧できるようになる。

【0078】従って、RZパルスとしてデューティ比50%未満の“方形パルス”、望ましくは完全な方形を呈するパルスを用いるようにすることで、光源の波長及び伝送路中の光フィルタの透過中心波長の波長ずれによる光波形歪みを最大限に低減でき、高品質な通信を可能にすると共に、光源の波長及び光フィルタの波長透過特性の安定度に対する条件の許容度を広げ、高信頼及び高安定化を図ることができるようになる。

【0079】以上は、ADMノードを伝送路中間に多数、挿入できるようにする技術であったが、ADMノードを使用しないシステムも考えられる。そして、このように伝送路上にADMノードが存在しないシステムの場合においても、伝送路中、もしくは光送信端局側及び光受信端局側内に備えた透過帯域の狭い光フィルタの透過中心波長と光源の波長に波長ずれが生じると光波形劣化が生じる。特に高密度波長多重によく用いられる分波用の分波器は、複数のチャンネルが波長領域上で密に並んでいるため、各チャンネルに対する透過帯域が伝送する光信号帯域に比べて十分広帯域ではない。また、全てのチャンネルにおいて、合分波器を含めた光フィルタの透過中心波長と光源の波長を一致させることは技術的にも難しい。これに対処して、光源の波長及び伝送路中の光フィルタの透過中心波長の波長ずれによる光波形歪みを低減し、光源の波長及び光フィルタの波長透過特性の安定度に対する条件の許容度を広げ、高信頼及び高安定化を図ることができるようにした具体例を次に第3の具体例として説明する。

【0080】（第3の具体例）図10に第3の具体例の構成図を示す。この構成は、図1の構成における伝送路中間のADMノード6-1～6-Mを、光ファイバ増幅器4に置き替えた例である。その他の構成は図1と同様

であるので、図1での説明を参照することとし、ここでは改めて説明はしない。

【0081】このような構成において光送信端局1では、各チャンネル毎の光送信器2-1～2-Nより、図11に示される方形のRZパルスである光信号S-1、～S-Nをチャンネル対応に異なる波長の搬送波光信号で送信する。各チャンネルの光信号S-1、～S-Nは、これら光信号S-1、～S-Nの光スペクトル帯域よりも狭帯域の透過帯域幅を各ポートに持つ合波器3で波長多重され、光送信端局1内の光ファイバ増幅器4を通り、伝送路である光ファイバ5を介して光受信端局7に伝送される。光受信端局7における動作は、第1の具体例の光受信端局7と同じとする。

【0082】第3の具体例において、各チャンネルの光信号の伝送速度を10[Gb/s]とし、合波器3の各ポートの3dB透過帯域幅を0.25[nm]とする。各光信号S-1、～S-Nの波長は、合波器3の各ポートの透過中心波長に合わせて初期設定されるが、外気温度変化もしくは合波器3および光送信器2-1、～2-N内の光源（搬送波となる、チャンネル対応の所定周波数の連続光を発生する光源）の経年劣化により、いずれかのチャンネルにおいて合波器3の入力ポートの透過中心波長に対する光信号の波長ずれが生じることが考えられる。

【0083】例えば、チャンネルL（ $1 \leq L \leq N$ ）において、光源の波長と合分波器の透過中心波長との間に0.25[nm]の波長ずれが生じたとき、本発明による方形のRZパルスを用いた場合における光ファイバ入射時のアイパターンを、図12(a)に示し、また、比較のために、同じ条件でNRZパルスを用いた場合における光ファイバ入射時のアイパターンを図12(b)に示す。

【0084】図12に示されるように、方形のRZパルスはNRZパルスに比べて、波長ずれに対する光波形劣化が小さい。波長多重光伝送のように複数のチャンネルを持つ伝送系においては、様々な要因から特定のチャンネルにおいてのみ、光源の波長と合分波器の透過中心波長の波長ずれが起きることが考えられ、またその可能性はチャンネル数に比例して高くなる。

【0085】そのため、光源及び合分波器の波長特性の安定度に対して厳しい条件が必要とされ、装置の生産において歩留まりが悪くなり、コスト高につながっていた。従って、波長ずれに対して光波形劣化の小さい方形のRZパルスを用いるようにすることで、光源及び合分波器の波長特性の安定度に対する条件を緩和することができることは、装置の生産性向上及び伝送特性の安定性につながり、高品質の通信が安定して可能な、波長多重光伝送装置を安価に提供できることになる。

【0086】以上、第3の具体例に係わる波長多重光伝送装置では、伝送路中に伝送する光信号帯域に比べ、そ

れほど広帯域ではない合分波器などの狭帯域光フィルタを備えるシステムの場合には、伝送対象の情報であるデジタルデータのパルス信号として、方形のRZパルスを用いるようにした。

【0087】方形のRZパルスはNRZパルス及びガウス形に代表される三角形パルスに比べて、光スペクトル分布の広がりが大きいため、狭帯域の光フィルタの透過中心波長と光源の波長が波長ずれを起こした際においても、光スペクトル分布の非対称の影響が小さく光波形歪みを抑圧できる。

【0088】従って、伝送路上にADMノードが存在しない高密度波長多重光通信システムにおいて、特に高密度波長多重によく用いられる分波用の分波器は、複数のチャンネルが波長領域上で密に並んでいるため、各チャンネルに対する透過帯域が伝送する光信号帯域に比べて十分広帯域ではなく、また、全てのチャンネルにおいて、合分波器を含めた光フィルタの透過中心波長と光源の波長を一致させることは技術的にも難しいが、本具体例によれば、狭帯域の光フィルタの透過中心波長と光源の波長が波長ずれを起こした際においても、光スペクトル分布の非対称の影響を小さくすることができ、光波形歪みを抑圧できて、光源の波長及び光フィルタの波長透過特性の安定度に対する条件の許容度を広げ、高信頼及び高安定化を図ることができるようになる。

【0089】以上は方形のRZパルスを用いるようにした例であったが、RZパルスの特殊な例であるハイパボリックセカント形のRZパルスの場合、三角形パルスではあるものの特別な条件下では、狭帯域の光フィルタの透過中心波長と光源の波長が波長ずれを起こした際においても、光スペクトル分布の非対称の影響を小さくすることができ、光波形歪みを抑圧できて、光源の波長及び光フィルタの波長透過特性の安定度に対する条件の許容度を広げ、高信頼及び高安定化を図ることができるようになる。その例を次に第4の具体例として説明する。

【0090】(第4の具体例)次に第4の具体例を説明する。伝送路中に光信号帯域に比べそれほど広帯域ではない合分波器などの狭帯域光フィルタを備える構成である場合、ピークパワーPが前述のPsより小さく、光ファイバの非線形効果による自己位相変調効果が無視できる領域において、RZパルスとして波形形状が三角形のRZパルスを用いると良い。すなわち、波形形状が三角形のRZパルスは、NRZパルスに比べて、狭帯域の光フィルタの透過中心波長と光源の波長が波長ずれを起こした際においても、光スペクトル分布の非対称の影響が小さい。従ってこの点より、光波形歪みの抑圧が可能である。

【0091】詳細を説明する。第4の具体例において説明上、利用する伝送路モデルは第3の具体例と同様とする。すなわち、図1の構成における伝送路中間のADMノード6-1~6-Mを、光ファイバ増幅器4に置き替

えて図10の如く構成した例である。また、ここでは各チャンネルの伝送速度を10[Gb/s]として、光信号の波形形状は図13に示される半値全幅20[ps]のハイパボリックセカント(以下、sech)形のRZパルスとする。すなわち、波形形状が三角形のRZパルスとするわけである。

【0092】また、合波器3の各入力ポートの3dB透過帯域幅を0.25[nm]として、第3の具体例の同様、あるチャンネルにおいて合波器3におけるそのチャンネル用の入力ポートの透過中心波長に対する光信号の波長に、波長ずれが生じた際での、本発明によるハイパボリックセカント形のRZパルスを用いた場合での受信器側におけるアイベナリティを、NRZパルスを用いた場合でのそれと比較して図14に示す。図14(a)がハイパボリックセカント(sech)形のRZパルスを用いた場合のアイベナリティ、図14(b)がNRZパルスを用いた場合でのアイベナリティである。

【0093】図14の特性曲線からわかるように、sech形のRZパルスはNRZパルスに比べて、波長ずれに対する光波形劣化が起こりにくく、波長ずれに対する許容度が大きい。

【0094】ところで、L. F. Mollenauer等は、“The sliding-frequency guiding filter: an improved form of soliton filter control”、Opt. Lett. 17, pp. 1575-1577, 1992において、伝送路の光フィルタの透過中心波長をスライディングさせていくソリトン伝送を発表している。ここでソリトンとは、色分散無しで導波路中を伝搬するレーザ光のように、エネルギーの分散無しに伝搬する波を指す。

【0095】この文献によると、「RZパルスの特殊なケースである“sech形パルス(ハイパボリックセカント形パルス)”は、分散距離よりも十分に短い間隔で伝送路に光フィルタを離散的に挿入し、その透過中心波長を伝送距離に比例してシフトさせても、光パルスの強度を、ソリトン条件である、前述のPsより大きくして、光ファイバの非線形特性である自己位相変調効果を利用して、sech形パルスを再度形成し続けていく特徴がある」と述べられている。

【0096】この第4の具体例に示す波長多重光伝送装置は、各チャンネル別の伝送情報をパルス信号化し、光源にて発生させた各チャンネル別に異なる波長の搬送波光信号をその該当チャンネルの伝送情報である前記パルス信号で変調して多重化し、伝送する場合に、前記パルス信号として、sech形等のような三角形のRZパルスを使用することを特徴としており、伝送路が、搬送波光を発生する光源の波長と一致していない透過中心波長を持つ狭帯域の帯域制限特性を持つ場合に、ソリトン条件を満たしていないsech形のような三角形のRZパ

ルス、あるいは方形等のRZパルスが、NRZパルスよりも光波形歪みの影響が非常に小さいことに着目して、その特性を活用するようにした装置である。

【0097】そして、本具体例によれば、狭帯域の光フィルタの透過中心波長と光源の波長が波長ずれを起こした際においても、光スペクトル分布の非対称の影響を小さくすることができ、光波形歪みを抑圧できて、光源の波長及び光フィルタの波長透過特性の安定度に対する条件の許容度を広げ、高信頼及び高安定化を図ることができるようになる。

【0098】以上、第5の具体例に係わる波長多重光伝送装置では、伝送路中に光信号帯域に比べそれほど広帯域ではない合分波器などの狭帯域光フィルタを備える構成である場合、三角形のRZパルスを用いるようにしたものであり、ピークパワーPが前述のPsより小さく、光ファイバの非線形効果による自己位相変調効果が無視できる領域において、三角形のRZパルスはNRZパルスに比べて、狭帯域の光フィルタの透過中心波長と光源の波長が波長ずれを起こした際においても、光スペクトル分布の非対称の影響が小さく光波形歪みを抑圧できるという特徴を利用したものである。

【0099】次に透過中心波長と光源の波長が波長ずれを起こした際においても、光スペクトル分布の非対称の影響が小さく、従って、光波形歪みを抑圧できる別の例を第5の具体例として説明する。

【0100】(第5の具体例) 第5の具体例においても、その説明上、利用する伝送路モデルは第4の具体例と同様とする。すなわち、本具体例の場合、図10の構成において、各チャンネルの光送信器2-1、～2-Nでは、全ての伝送する光信号波形に半値全幅の等しい光パルスを用いるための符号を適用する。すなわち、パルス信号として半値全幅の等しい光パルスを用いるための符号を適用する。

【0101】このような符号には、例えば、光パルスの送信スロットの位置で信号を伝達するPPM(Pulse-Code-Modulation: PPM)符号があり、スロット間にガードタイムを設けることで、信号系列に依らず、等しい半値全幅の光パルスを用いることができる。

【0102】また、図15に示されるように、信号系列が変化するとき、つまり“0”→“1”、もしくは“1”→“0”のとき、半分のスロット幅の半値全幅を持つ光パルスを使用して搬送波光を変調し、伝送させる符号も考えられる。

【0103】上述のような符号を適用された本波長多重光伝送装置は、光源の波長と合分波器の透過中心波長との間の波長ずれに対して、伝送される光パルスの形状が全て同一であるため、第1～第4の具体例で示された効果と同様に、信号系列に依るパターン効果が従来のNRZパルスと比較して非常に小さく光波形歪みを大きく抑

圧することが可能となる。

【0104】以上、第5の具体例に係わる波長多重光伝送装置では、伝送路中に光信号帯域に比べてそれほど広帯域ではない合分波器などの狭帯域光フィルタを備える場合に、全ての伝送する光信号波形に半値全幅(単一の最大値を持つ分布曲線で、最大値の高さの2分1に対応する2点間の距離; 半値幅ともいう)の等しい光パルスを用いる符号を適用するようにした。伝送する光信号波形にNRZパルスを用いた場合は、信号系列の“1”の連続発生数により様々な半値全幅の光パルスが存在するため、狭帯域の光フィルタの透過中心波長と光源の波長が波長ずれを起こした際に発生するパターン効果が大きく光波形歪みが大きく生じてしまう。

【0105】しかし、本第5の具体例に係わる符号化された光信号波形は、信号系列に依らず光パルスの形状は全て等しいため、パターン効果の影響を低減することができ光波形歪みを抑圧できるようになる。

【0106】(第6の具体例) 次に第6の具体例を説明する。図16に第6の具体例の構成図を示す。この構成において、受信端局7以外の構成は図1と同様であるので、図1での説明を参照することとし、ここでは改めて説明はしない。ただし、伝送路である光ファイバ5を群速度分散+18ps/nm/kmを持つ通常分散ファイバとし、伝送路中にADMノード6-1～6-Mが50km間隔で挿入されているとする。

【0107】この具体例においては、受信端局7において、光分波器8の前段に光ファイバ5の群速度分散の光波形への歪みを補償するための、分散補償器11を挿入する。分散補償器11としては、分散補償ファイバもしくはグレーティングファイバ等が考えられる。

【0108】各チャンネル1～Nの光信号の伝送速度を2.5Gb/sとし、合分波器の各ポートの3dB透過帯域幅を0.4nmとする。ここで、チャンネルL(1≤L≤N)において、光源の波長と合分波器の透過中心波長との間に、0.15nmの波長ずれを生じたとする。また伝送路中に挿入されているADMノード数をM=7とし、受信端局7に挿入される分散補償器11においては、送信されてきた光信号が光ファイバ5から受ける群速度分散+18ps/nm/km×(50×8)kmを補償するために、-7200ps/nmの分散を持つ。

【0109】このとき、本発明による方形のRZパルス(デューティ比50%、スロープ15%)を用いた場合におけるアイペナルティを横軸に通過したADMノード数Mに対して、NRZパルスを用いた場合と比較して図17に示す。

【0110】すでに説明した本願の第5の具体例までの話から、RZパルスは波長ずれに対して、NRZパルスに比べて波形歪みが小さいことがわかっている。しかし、伝送路が通常分散ファイバのように大きな群速度分

散を持つ場合においては、図17に示されるように、RZパルスはNRZパルスに比べて信号帯域が広いため、光ファイバの群速度分散の影響をより大きく被り、伝送距離がのびていくにつれ、波形歪み劣化が大きくなっていく。

【0111】これは伝送路が分散シフトファイバのように、小さい群速度分散をもつ場合においても、長距離伝送となると、群速度分散が蓄積されていき、大きな波形歪みを引き起こすことになる。そのため、RZパルスが波長ずれに対してNRZパルスよりも波形歪みが小さい長所が消えてしまう。

【0112】しかし、本発明の第6の具体例のように受信端局7において、光ファイバ5の持つ群速度分散と逆符号の群速度分散を持つ分散補償器11を挿入することで、光源の波長と合分波器の透過中心波長との間に波長ずれがある場合においても、蓄積されてきた群速度分散の波形歪みへの劣化を補償することが可能である。

【0113】そして分散補償をすることで、RZパルスの波長ずれに対して波形歪みが小さい長所を引き出すことができる。

(第7の具体例) 伝送路から被る群速度分散に対する分散補償方法としては、本発明の第6の具体例のように、受信端局において送信端局から蓄積された群速度分散を一括して分散補償する方式と、各ADMノードにおいて分割して分散補償する方式が考えられる。

【0114】ここで、本発明の第7の具体例として、各ADMノードにおいて、そのADMノードに至るまでの間に、光信号が光ファイバから被る群速度分散を補償する方式を説明する。

【0115】図18に第7の具体例の構成図を示す。この構成において、ADMノード6-1~6-M、及び受信端局7以外の構成は図1と同様であるので、図1での説明を参照することとし、ここでは改めて説明はしない。また、図18の構成においても図16の構成と同様、伝送路である光ファイバ5を群速度分散+18ps/nm/kmを持つ通常分散ファイバとし、伝送路中にADMノード6-1~6-Mが50km間隔で挿入されているとする。

【0116】各ADMノード6-1~6-M及び受信端局7において、光分波器8の前に光ファイバ5の群速度分散の光波形への歪みを補償するための、分散補償器11を挿入する。各チャンネル1~Nの光信号の伝送速度を2.5Gb/sとし、合分波器の各ポートの3dB透過帯域幅を0.4nmとする。

【0117】ここで、チャンネルL(1≤L≤N)において、光源の波長と合分波器の透過中心波長との間に0.15nmの波長ずれを生じたとする。また、伝送路中に挿入されているADMノード数をM=10とし、ADMノード6-1~6-M及び受信端局7に挿入される分散補償器11においては、送信されてきた光信号が入

力側の光ファイバ5から受ける群速度分散+18ps/nm/km×50kmを補償するために、-900ps/nmの分散を持つ。

【0118】このとき、本発明による方形のRZパルス(デューティ比50%、スロープ15%)において、分散補償がある場合とない場合におけるアイペナルティを横軸に通過したADMノード数Mに対して、伝送路に群速度分散+0.4ps/nm/kmを持つ分散シフトファイバ(DSF)を用いた場合と比較して図19に示す。

【0119】図19からわかるように、光源の波長と合分波器の透過中心波長との間に波長ずれがある場合においても、各ADMノード6-1~6-M及び受信端局7において、分割して分散補償をすることで、伝送路である光ファイバ5が大きい群速度分散を持つ通常分散ファイバであっても、分散シフトファイバと同様の波長ずれの劣化で、光信号を伝送することが可能である。以上、種々の具体例を説明したが、本発明は上述した具体例に限定されるものでなく、その要旨を変更しない範囲内で適宜変形して実施可能である。

【0120】

【発明の効果】以上、詳述したように本発明は、ADMノードを伝送路中に備える波長多重光伝送装置において、送信する光信号にRZパルスを用いるようにしたことにより、光源の波長及び合分波器の透過中心波長の波長ずれによる光波形歪みを著しく低減できるようになる。そのため、光源の波長及び合分波器の波長透過特性に要求される波長安定度の許容度を大きくできる。さらに挿入されるADMノード数に比例した透過帯域の狭帯域化による光波形歪みも低減することが可能であり、伝送路中に挿入可能なADMノード数も増やすことができる。

【0121】また高密度波長多重光伝送において、伝送路に備えられる狭帯域の光フィルタに対しても、送信する光信号にRZパルスを用いる、もしくは半値全幅の等しい光パルスを用いるための符号を適用することにより、光源の波長及び光フィルタの透過中心波長の波長ずれによる光波形歪みを著しく低減することが可能となる。

【0122】以上のことから、光源の波長及び合分波器などの光フィルタの透過波長特性の変動に対して高信頼、高安定であり、ADMノード数も相当量多く挿入できるフレキシブルな大容量光伝送の波長多重光伝送装置を提供することができ、マルチメディア情報化社会に適した光波ネットワークを容易に実現できるようになる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明を説明するための図であって、本発明の第1の具体例における概略的なシステム構成例を示した図。

【図2】合分波器の波長一透過率特性を示した図。

【図 3】本発明を説明するための図であって、本発明の第 1 の具体例で使用する R Z パルスにおける波長ずれ 0.0 [nm] のときのアイパターンと光スペクトル分布を示した図。

【図 4】本発明を説明するための図であって、本発明の第 1 の具体例で使用する R Z パルスにおける波長ずれ 0.1 [nm] のときのアイパターンと光スペクトル分布を示した図。

【図 5】本発明を説明するための図であって、本発明の第 1 の具体例で使用する R Z パルスにおける波長ずれ 0.16 [nm] のときのアイパターンと光スペクトル分布を示した図。

【図 6】本発明の比較説明に用いるための図であって、従来システムで使用する NR Z パルスにおける波長ずれ 0.0 [nm] のときのアイパターンと光スペクトル分布を示した図。

【図 7】本発明の比較説明に用いるための図であって、従来システムで使用する NR Z パルスにおける波長ずれ 0.1 [nm] のときのアイパターンと光スペクトル分布を示した図。

【図 8】本発明を説明するための図であって、本発明の第 1 及び第 2 の具体例において、R Z パルスと NR Z パルスを使用した場合における波長ずれに対するアイペナルティ特性を説明する図。

【図 9】本発明を説明するための図であって、本発明の第 2 の具体例において、スロープ時間の違う方形パルスを使用した場合における波長ずれに対するアイペナルティ特性を説明する図。

【図 10】本発明を説明するための図であって、本発明の第 3 の具体例システムの概略的構成を示す図。

【図 11】本発明を説明するための図であって、本発明の第 3 の具体例で使用する方形 R Z パルスの例を示す図。

【図 12】本発明を説明するための図であって、本発明の第 3 の具体例である方形 R Z パルスの場合と、NR Z パルスの場合における波長ずれ 0.25 [nm] のときのアイパターンを示した図。

【図 13】本発明を説明するための図であって、本発明

の第 4 の具体例で使用するハイパボリックセカント形 R Z パルスの例を示す図。

【図 14】本発明を説明するための図であって、本発明の第 4 の具体例において使用するハイパボリックセカント形 R Z パルスの場合と、NR Z パルスの場合での波長ずれに対するアイペナルティ特性例を示す図。

【図 15】本発明を説明するための図であって、本発明の第 5 の具体例において符号化された送信光パルスの例を示す図。

10 【図 16】本発明を説明するための図であって、本発明の第 6 の具体例における概略的なシステム構成を示した図。

【図 17】本発明を説明するための図であって、本発明の第 6 の具体例において、R Z パルスと NR Z パルスを使用し、受信端局において分散補償がある場合とない場合における、ADM ノード数に対するアイペナルティ特性を説明する図。

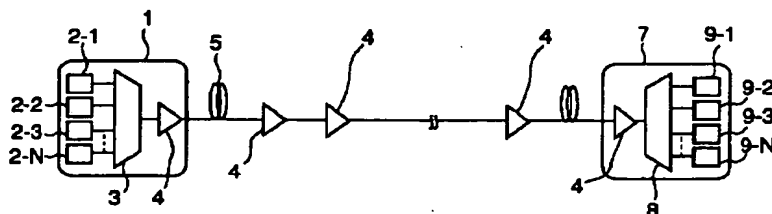
20 【図 18】本発明を説明するための図であって、本発明の第 7 の具体例における概略的なシステム構成図を示した図。

【図 19】本発明を説明するための図であって、本発明の第 7 の具体例において、R Z パルスを使用し、各 ADM ノードにおいて分散補償がある場合とない場合における、ADM ノード数に対するアイペナルティ特性を説明する図。

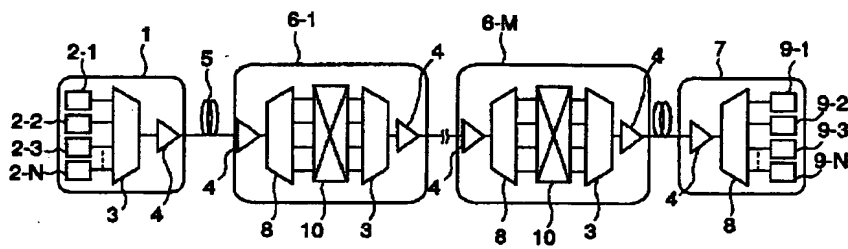
#### 【符号の説明】

- 1 … 光送信端局
- 2 … R Z パルス光送信器
- 3 … 合波器
- 30 4 … エルビウムドープ光ファイバ増幅器
- 5 … 光ファイバ
- 6 … ADM ノード
- 7 … 光受信端局
- 8 … 分波器
- 9 … 光受信器
- 10 … クロスコネクタ
- 11 … 分散補償器。

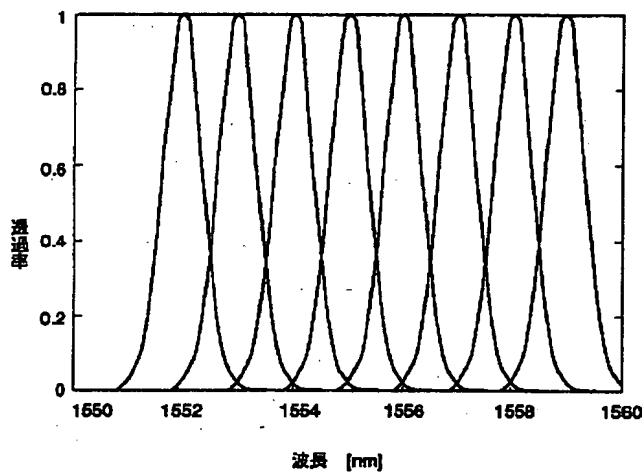
【図 10】



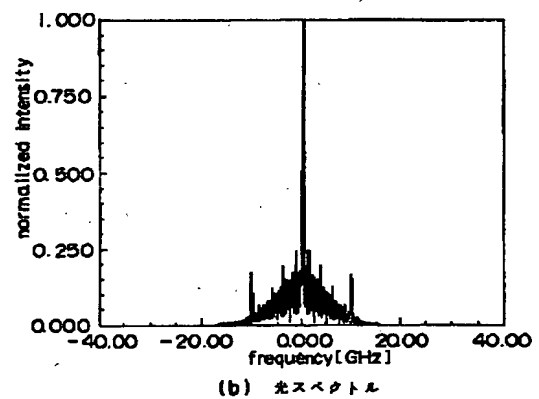
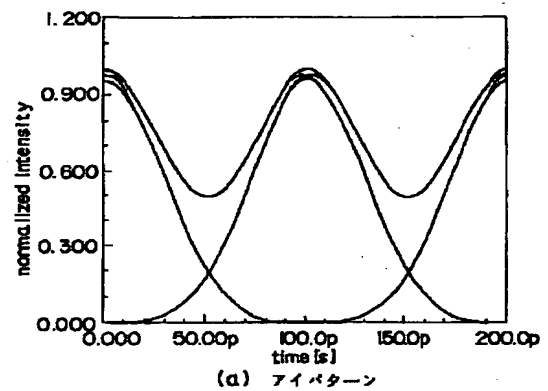
【図1】



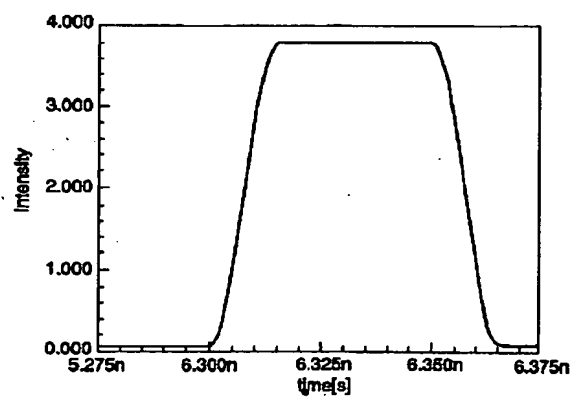
【図2】



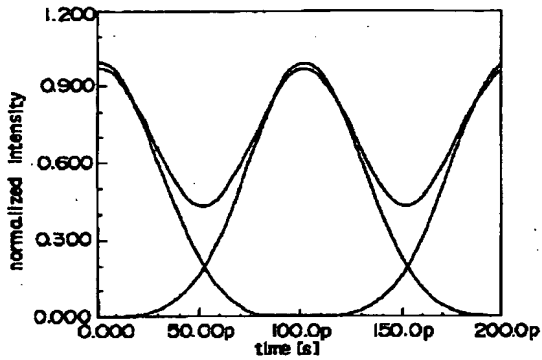
【図3】



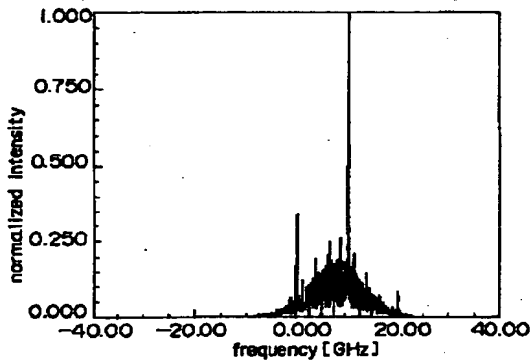
【図11】



【図 4】

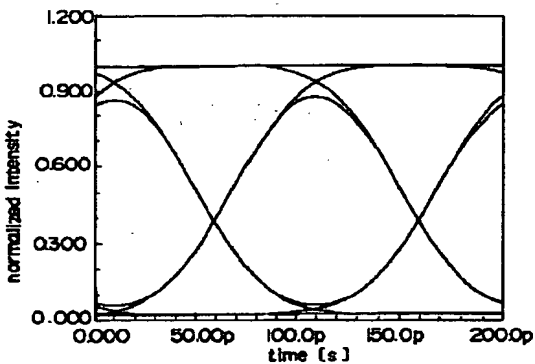


(a) アイパターン

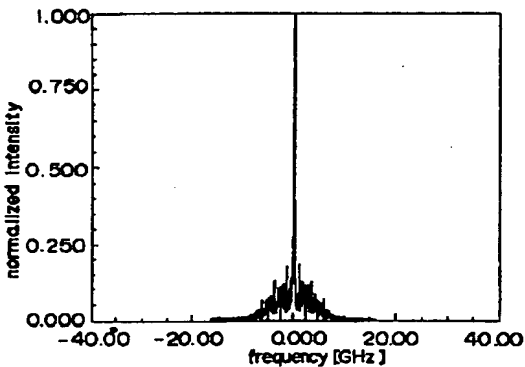


(b) 光スペクトル

【図 6】

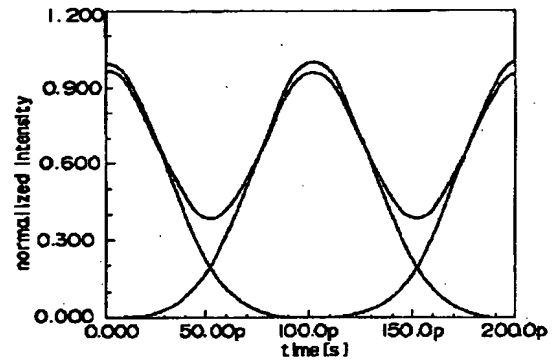


(a) アイパターン

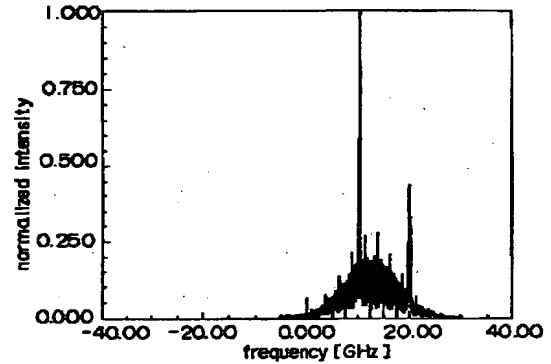


(b) 光スペクトル

【図 5】

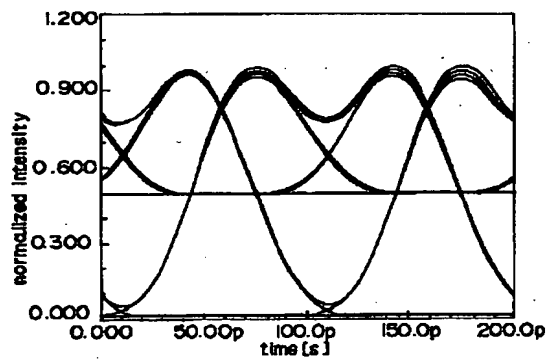


(a) アイパターン

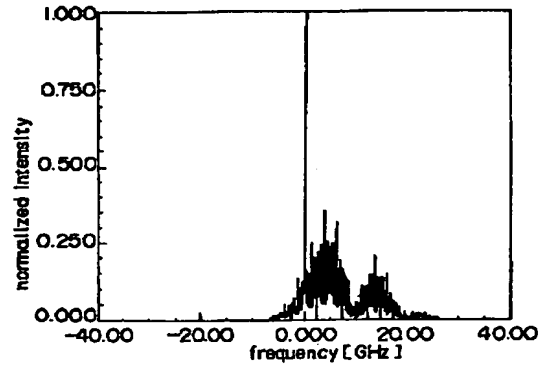


(b) 光スペクトル

【図 7】



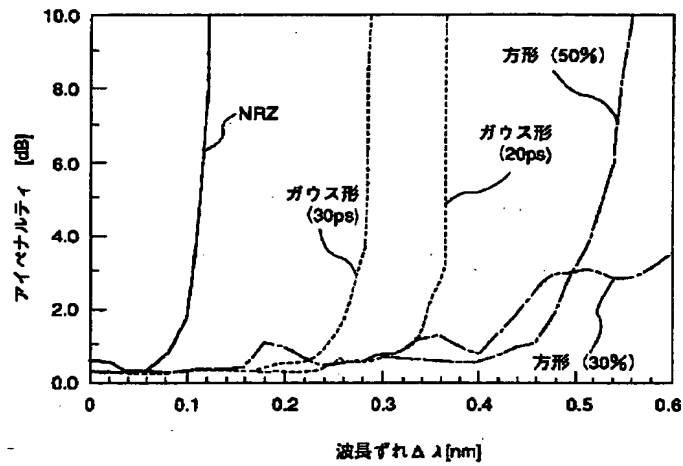
(a) アイパターン



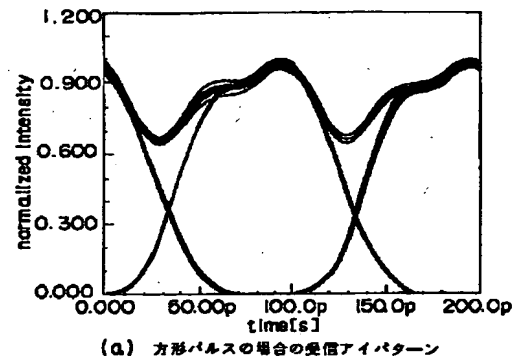
(b) 光スペクトル



【図8】

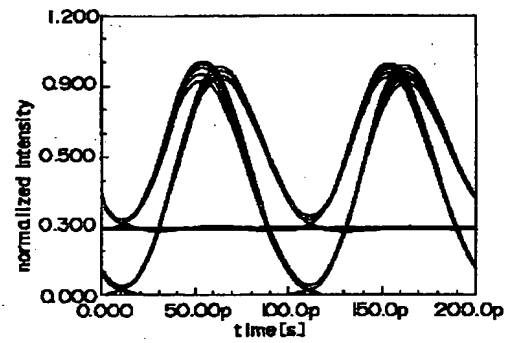
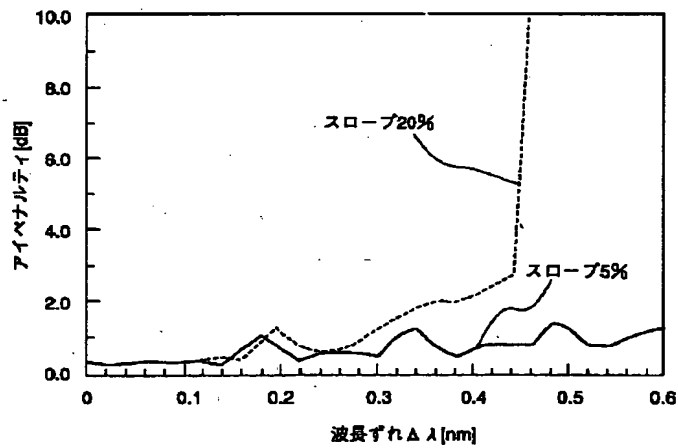


【図12】



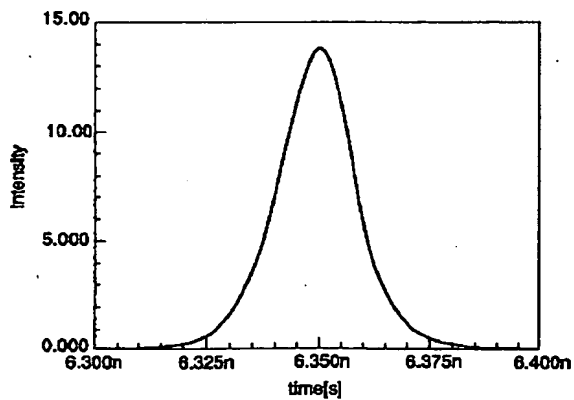
(a) 方形パルスの場合の受信アイパターン

【図9】

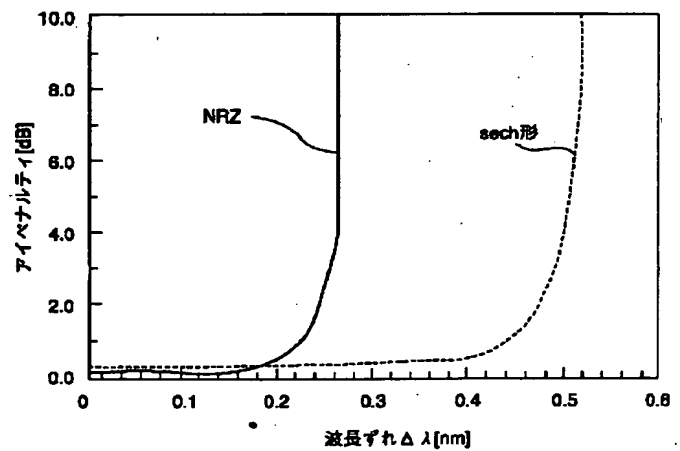


(b) NRZパルスの場合の受信アイパターン

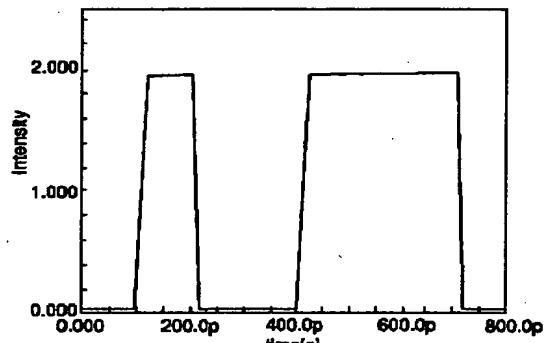
【図13】



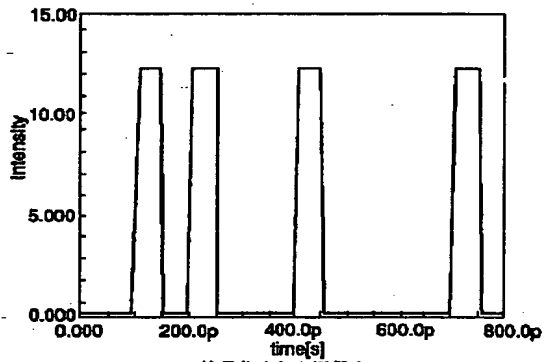
【図14】



【図15】

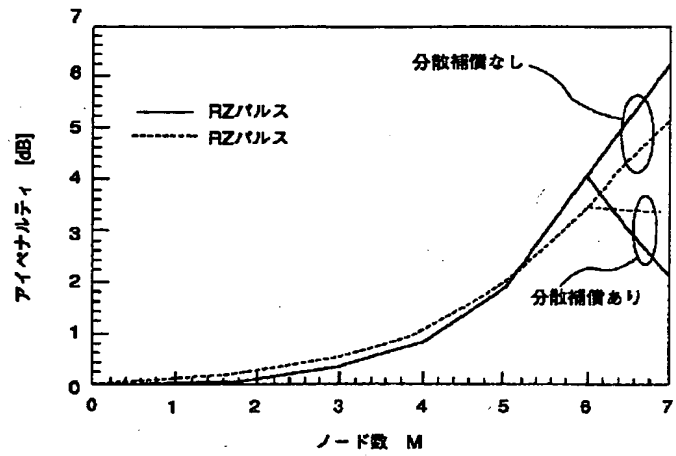


(a) NRZ信号

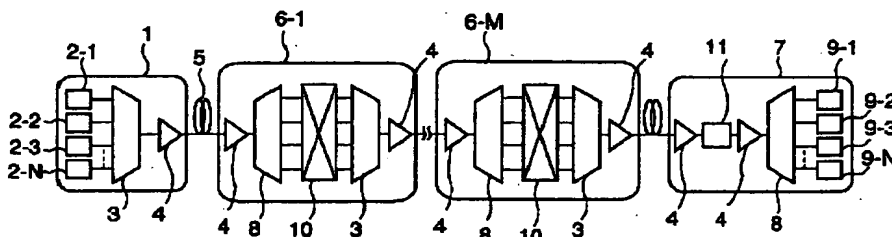


(b) 符号化された送信光パルス

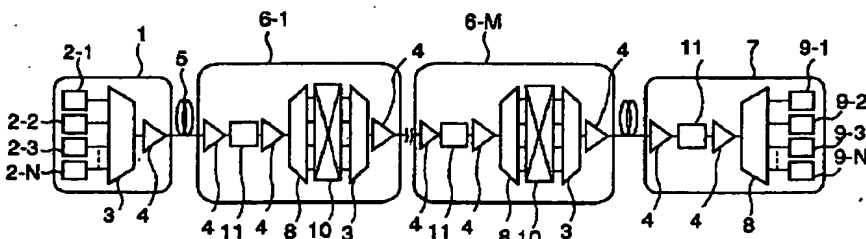
【図17】



【図16】



【図18】



【図19】

